



普通高等院校电子电气类“十二五”规划系列教材

智能仪器理论、设计和应用

ZHINENG YIQI LILUN SHEJI HE YINGYONG

主 编 傅 林

副主编 邓昌建 聂 玲

ZHINENG YIQI LILUN SHEJI HE YINGYONG



西南交通大学出版社

普通高等院校电子电气类“十二五”规划系列教材

智能仪器理论、设计和应用

主 编 傅 林
副主编 邓昌建 聂 玲
参 编 胡沁春 蒋勇敏

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

智能仪器理论、设计和应用 / 傅林主编 — 成都:
西南交通大学出版社, 2014.9

普通高等院校电子电气类 “十二五” 规划系列教材
ISBN 978-7-5643-3394-2

I. ①智… II. ①傅… III. ①智能仪器—高等学校—
教材 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 204986 号

普通高等院校电子电气类 “十二五” 规划系列教材
智能仪器理论、设计和应用

主编 傅 林

责任编辑	李芳芳
助理编辑	张少华
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	26
字 数	646 千字
版 次	2014 年 9 月第 1 版
印 次	2014 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3394-2
定 价	59.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校电子电气类“十二五”规划系列教材

编 审 委 员 会

(按姓氏音序排列)

主 任 肖 建

副主任 董秀成 高 心 霍 平 黄勤珍 巨 辉

隆 泗 王 军 魏金成 王毅飞 肖尚辉

郑会军 张晓逵 任家富

委 员 陈劲松 程文波 陈永强 杜 诚 邓昌建

邓 凯 傅 林 黄立平 黄 勇 胡沁春

蒋勇敏 蒋世奇 林 彬 刘 莉 李琳琳

刘 鹏 吕晓琴 倪 雨 聂 玲 彭安金

潘育山 邵仕泉 宋乐鹏 汪华章 王 勇

夏 凌 谢志萍 严寒冰 杨乃琪 杨志坚

张彼德 郑海春 朱晋梅 郑 骊 张 莲

张雪原 张玉平

前 言

一、课程地位和目标

智能仪器是电子信息工程、测控技术与仪器、自动化等专业的专业必修课，也是其他专业比如生物医学工程、食品质量与安全、食品营养与检验教育、安全工程、刑事科学技术、运动训练、生物信息学、建筑电气与智能化、轨道交通信号与控制、水质科学与技术、农学专业（农业资源与环境、野生动物与自然保护区管理、水土保持与荒漠化防治等）、医学类专业（如食品卫生与营养学、医学检验技术、医学影像技术等）、机械类（过程装备与控制工程等）、地理科学类（如自然地理与资源环境）、大气科学类（应用气象学等）地球物理学类、地质学类、地质类、测绘类、矿业类、交通运输类、航空航天类、兵器类（探测制导与控制技术、信息对抗技术等）等专业以及仪器分析学科的主要和重要必修或选修课程。在专业基础课如电路分析、模拟电子技术、数字电路等的基础上，其先修课程主要有计算机原理与接口技术（或者单片机原理与接口技术）、EDA 技术、信号与系统、数字信号处理、电子测量技术、传感器技术以及汇编和高级程序设计语言（典型的是 C 语言）、软件工程等，此外还要了解或掌握人工智能、智能计算、软测量等课程的相关理论、技术和方法；其后续课程是专业实习、毕业设计等。

智能仪器课程主要讲解智能化仪器仪表的组成原理、设计技术和应用方法等；涉及多学科和课程的理论技术与方法。课程目的是使学生掌握智能仪器的基本原理、发展趋势、相关理论技术，以及智能仪器项目、系统的设计、研发方法，以适应电子信息技术和测控技术发展的要求，为从事测控技术与仪器仪表、电子信息工程、自动化等领域的工作打下坚实的基础。

二、本书宗旨、特点

一部教材应该体现某些教育思想和教学理念，结合具体的教学模式进行讲授。本书依照开放实验学的思想，引入面向对象哲学思想和工程技术方法，结合项目教学模式进行编写。开放实验学本质是以实验者（学习者）为主体，以教师为主导和合作者，有机结合多种教育理论如建构主义和开放教育理论，采取多种教学模式和方法，以发现和挖掘学生潜力、提升学生智慧，培育学生创新思维方式、创造意识、科学精神和创新文化、创新人才为目标的（实验）教学体系。开放实验学最为核心的思想就是课堂是实验室的延伸，课堂教学内容是实验教学的有机组成部分，实验以实际生活需求和生产过程中的项目形式展开，课堂教学也结合

项目进行；比如电子工程专业，课堂教学就是结合项目，利用 PROTEUS、KEILC、MATLAB 等软件进行相关理论知识和技术的演示验证，对项目进行仿真实验教学等。通过这种开放实验教学过程，达到实验内容项目化、教学过程工程化、实验结果产品化，教学任务完成后项目自成体系，并具有一定商业市场推广价值。为此，引入面向对象哲学思想和工程化技术方法，把理论知识和应用理论知识的工程技术实践方法结合（封装）在一起成为具体的课题、项目，最终形成现实的新的物理对象。其基本目标在于彻底根除传统教学中学生只见局部、不见项目整体，只见僵化知识，不知实践应用，只见静态的基本原理，不见动态的发展现状和趋势，只懂书本内容，没有提升科学文化和科学精神等痼疾，这也更加符合国家卓越工程师培养计划的要求。

本书的写作风格不是以一副居高临下的态势板着脸孔训人，没有抬出一大堆概念或者公式，弄的初学者一头雾水，不知所措，而且那样做最大的危害还是在心理上的，对学生的学习兴趣、信心给予了无情的打击，对其学习动力造成严重破坏。本书以一种平易近人的态度，以朴实、通俗的语言娓娓道来，注重一开始就引起学生极大而且浓厚的兴趣进行学习，逐步介绍智能仪器相关基本概念、沿革，讲解相关理论、技术、知识、方法和手段。主要目的在于结合当前智能仪器理论技术现状、趋势和前沿，密切结合实际运用，开阔学生视野，注重培养学生的工程思维方式和技术思想、创新意识和创新精神，使教材成为理论技术与工作实践的接口，达到学而有用、学而能用、学会用、学而够用的目的。

本书不只是教材，还是凝聚了作者心血的著作，体现了很多新东西，编著理念新，编写风格新。内容新，主要体现在几个方面：一是按照智能仪器自顶向下设计方法体系编排章节，自始至终强调体系结构观念和系统方法论思想；二是自始至终强调智能仪器全寿命周期过程；三是编写了诸多同类教科书一般没有写过的东西，比如测量不确定度、微弱信号处理、现代设计方法体及其应用、功能安全、结构安全、可靠性设计、现场总线和工业以太网特别是 EPA 等；四是注重标准的要求，概念和方法都讲求标准化；五是注意提供一些启发性、开拓性的线索；六是注意提示、强调和使用过程实际的开发平台；七是紧密结合生产、工程实际和学科前沿最新理论、技术、方法和工具；八是有时候以图代文，给读者自己解说的空间；九是将编者的一些新的思想、观点写进书中，比如智能仪器的定义等；十是力图把培养工程观念和思维方式放在首位，而不是只注重介绍相关知识。

三、本书结构和编写情况

本书共 12 章，可分为 3 部分，第 1 部分是基础理论，包括第 1~4 章；第 2 部分主要介绍设计理论和工程技术方法，包括第 5~10 章；第 3 部分是设计实例和工程应用，包括第 11、12 章。

本书每一章开头列出重点内容，应该准备的相关基础，以及必须掌握的相关理论知识和工程技术方法。在相关项目实例中，列出相关学科的技术方法等必要条件，相关理论技术的现状和前沿性、前瞻性课题，以及相应的软硬件开发平台等。为实现本书宗旨提供强有力的方法论保障。

本书第 1 章由傅林编写，属于绪论性质，介绍测量、仪器、智能仪器的基本概念和作用，

电子测量技术的特点、仪器的技术指标、智能仪器的基本构成和特点。第 2 章由傅林编写，介绍微弱信号检测与智能传感器的理论和相关工程技术方法。第 3 章由傅林、胡沁春编写，介绍数据智能分析与智能处理相关理论和工程技术方法。第 4 章由傅林编写，从方法论的角度介绍智能仪器设计。第 5 章由傅林编写，介绍智能仪器性能设计。第 6 章由傅林编写，介绍智能仪器总线等内容。第 7 章由傅林编写，介绍智能仪器功能安全等理论知识与设计。第 8 章由傅林和蒋勇敏编写，介绍智能仪器结构设计。第 9 章由傅林、邓昌建、聂玲编写，介绍智能仪器硬件系统设计。第 10 章由傅林、邓昌建、聂玲编写，介绍智能仪器软件系统设计。第 11 章医疗仪器设计，由傅林编写。第 12 章智能仪器应用，由傅林、邓昌建编写。本科生李浩、胡元川制作了部分插图，编写了部分 Matlab 程序。全书由傅林统稿。

四、本书的应用范围

本书不仅适用于普通高等院校，也适用于各类职业院校；不仅适用于电子信息工程专业、自动控制专业、测控技术与仪器专业，也适用于生物医学专业以及前述其他需要掌握或者开设了测试测量仪器技术相关课程的专业。本书除了作为广大高等院校、职业院校师生员工的教材、参考教程、辅助读本之外，也可以供广大工程技术人员以及其他人员参考。

五、本书交互渠道

本书作者一贯反感、反对那些只是套用“由于作者水平有限，书中难免存在错漏之处，敬请批评指正”之类假话套话，而不留下任何批评指正机会、信息的做法。本书提供以下交互渠道，诚恳地期待与广大学者、专家、师生和工程技术人员以及其他读者进行交流和讨论。

主编傅林联系方式：

1. 电话：18980999338，13982138601
2. Email：fulinlong@163.com
3. QQ：705289580
4. 地址：成都郫县中信大道 2 段 1 号，成都工业学院电子工程系，611730

目 录

第 1 章 测量、仪器和智能仪器	1
1.1 测量	1
1.2 仪器	8
1.3 智能仪器	12
习题与思考一	16
第 2 章 智能传感器和微弱信号检测	17
2.1 传感器基础	17
2.2 智能传感器	23
2.3 智能传感器标准体系简介	32
2.4 微弱信号检测理论技术简介	35
习题与思考二	58
第 3 章 数据智能分析与处理	59
3.1 误差理论	59
3.2 测量不确定度	72
3.3 智能仪器中的反问题及其处理要求	87
3.4 智能仪器中的智能信息处理方法	90
习题与思考三	99
第 4 章 智能仪器设计方法	100
4.1 现代设计理论与方法	100
4.2 智能仪器现代设计理论与方法	106
4.3 智能仪器现代设计平台	115
习题与思考四	125
第 5 章 智能仪器性能设计	126
5.1 智能仪器质量管理体系	126
5.2 智能仪器总体性能设计框架	128
5.3 智能仪器可靠性设计	132
习题与思考五	169

第 6 章 智能仪器总线	170
6.1 智能仪器常用计算机总线	170
6.2 测控总线	180
6.3 现场总线	193
6.4 工业以太网总线	201
习题与思考六	211
第 7 章 功能安全与安全仪器	212
7.1 功能安全	212
7.2 安全仪表及其设计	221
7.3 安规和本质安全	237
7.4 FSM 与 QMS、ISMS、OMS、EMS	245
习题与思考七	247
第 8 章 智能仪器机械结构设计	249
8.1 智能仪器结构设计概述	250
8.2 智能仪器结构设计一般准则	253
8.3 仪器机箱设计	260
8.4 仪器结构人类工效学设计	265
习题与思考八	267
第 9 章 智能仪器硬件系统设计	268
9.1 智能仪器中的微处理器	268
9.2 智能仪器硬件系统的开发平台	275
9.3 智能仪器的控制器系统设计	277
9.4 智能仪器的存储器系统设计	281
9.5 智能仪器的通信、网络及其接口	283
9.6 智能仪器的电路原理图设计技术和规范	290
9.7 智能仪器的 PCB 版图设计技术和规范	294
9.8 智能仪器设计仿真技术	300
习题与思考九	304
第 10 章 智能仪器软件系统设计	306
10.1 智能仪器的软件框架设计	306
10.2 智能仪器软件的开发语言和平台	310
10.3 智能仪器的控制系统软件	316
10.4 智能仪器的存储器软件设计	321

10.5 智能仪器通信与网络软件设计	326
习题与思考十	338
第 11 章 生物医学仪器	339
11.1 生物医学仪器相关知识	339
11.2 生物医学仪器	346
11.3 生物医学仪器设计开发过程	351
11.4 项目一: BL-420F 生物信号采集与处理系统改进设计	358
11.5 项目二: BW-200 生理无线遥测系统改进设计	366
11.6 项目三: 生物医学仪器风险管理、功能安全与电磁 兼容性设计相关要求	369
习题与思考十一	380
第 12 章 智能仪器应用	381
12.1 自动测试系统	381
12.2 故障预测与健康管理系统	385
12.3 交通枢纽电子警察系统	391
12.4 智能小区监测系统	394
12.5 智能电网中的智能仪器	398
习题与思考十二	402
主要参考文献	403

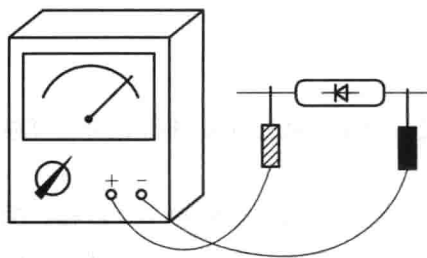
第1章 测量、仪器和智能仪器

1.1 测 量

智能仪器首先是仪器，而仪器用于测量（包括测量、计量、测试、检测、检验、监测和测控等），因此首先介绍重要概念：测量。

1.1.1 用万用表测量二极管极性和好坏

电子工程专业最常用的测量就是测量电子元器件、电路参数和信号特性。用一只万用表测量普通整流二极管极性是经常发生的事情，其测量示意图如图 1.1 所示。



(a) 用机械式（指针式）万用表测量



(b) 用数字万用表测量

图 1.1 用万用表测量（检测）普通整流二极管极性和好坏示意图

检测原理：二极管的单向导电性特点；万用表有内置电源——万用表的内电源的正极与万用表的“-”插孔即黑表笔连通，内电源的负极与万用表的“+”插孔即红表笔连通，而数字万用表则正好相反。

如图 1.1 所示，将指针式万用表置于 $R \times 1K$ 挡，先用红、黑表笔任意测量二极管两引脚间的电阻值，然后交换表笔再测量一次。如果二极管是好的，两次测量值必定是一大一小。以

阻值较小的一次测量为准,黑表笔所接的一端为正极,红表笔所接的一端则为负极。

性能良好的二极管,当指针式万用表表内电源使二极管处于正向接法时,二极管导通,阻值较小,锗点接触型的二极管正向电阻在 $1\text{ k}\Omega$ 左右,硅面接触型的二极管正向电阻在 $5\text{ k}\Omega$ 左右,则黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是二极管的负极;当表内的电源使二极管处在反向接法时,二极管截止,阻值很大,锗点接触型的在 $100\text{ k}\Omega$ 以上,硅面接触型的在 $1\text{ M}\Omega$ 以上,则黑表笔接的是二极管的负极,红表笔接触的是二极管的正极。正常情况下二极管正向电阻小,反向电阻大;这两个数值相差越大越好。如果两次测量的阻值都很小,说明二极管已经被击穿;如果两次测量的阻值都很大,说明二极管内部已经断路;两次测量的阻值相差不大,说明二极管性能欠佳。

一般数字万用表有专门的 Ω 测试挡位,此挡位会鸣叫。用数字万用表测量时,黑表笔插入 COM 端子,红表笔插入 $V\Omega$ 端子,将功能开关拨到 Ω 位置,把表笔分别搭在二极管的两极,然后在互换一下搭两极的表笔,如果一次鸣叫,且显示数字较小,一次不鸣叫且显示数字较大,这个二极管就是好的;鸣叫的那次,红表笔搭的是二极管正极,黑表笔搭的是负极。这和指针式万用表是不一样的:用指针式测得的是二极管正反向电阻;用数字万用表测得的是二极管正向导通压降。

从上面的例子可以得出,要完成测量过程,必须满足几个条件:

- (1) 要有测量对象。
- (2) 要依据客观规律或者某些规则,即测量原理。
- (3) 有适用的测量仪器,以及使用仪器根据测量原理进行测量的正确方法。
- (4) 要输出测量得到的结果即用数量表示的信息。

值得注意的是,上述测量过程的测量原理和方法依据的都是知识,而很多测量则是要采用标准、条例甚至法律等形式来规范的,而信息的表达也要遵循相应的规则或标准。由此可以给出测量的定义。

1.1.2 测量的概念

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》定义:测量是通过实验获得并可合理赋予某量一个或多个量值的过程。

测量不仅仅是确定一个或多个量值的过程,测量还是获得量值的一个过程。根据被测量的物理性质,有几何量、物理量、化学量、电磁量、光学量、生物量、生理量、医学量、工程量、心理量等;根据量呈现的状态,有开关量、模拟量、数字量、布尔量、逻辑量、模糊量等,此外,量还有其他分类。它们均从不同侧面反映物质、对象的不同属性,这就给测量提供了客观可能性。所以通俗地说,测量是按照某种规律和准则,用数量来描述观察到的现象,即对事物作出量化描述。规律和准则是指在测量时所采用的规则或方法。注意这里的准则是因为测量活动需要各种配置和条件,不仅包括要确定的测量原理、方法、程序、资源和人员配备、测量条件控制、测量过程中影响量识别及其影响判别、测量操作的实施步骤等,还可能包括法律、条例、制度,以及国家标准、行业标准、工程和技术规范等。

测量无处不在,无人不用,无事不备,无时不有,无物不需。我们衣食住行,无不需

测量。产品检验（原材料、元器件和半成品以及整机入厂检验，中间过程质量控制检验，出厂合格检验等），各种教学实验（如电磁学实验、电子技术实验、生物医学实验、分析化学实验），公共安全监测，交通监测，气象预报，环境监测，水质监测，饮食卫生和药品安全监测，江河湖泊水坝水文监测，生态监测，雷电监测，自然灾害预测和监测，智能家居和楼宇监测，物流检测，航空航天领域的测量和监测（航天测控网），网络监测，流量检测，工业过程和矿业作业测量与检测，节能减排监测，工程施工监测，地质勘探，科学考察，物种探测，考古发现，天文观测，宇宙探秘，刑事侦探，物证鉴别，生物识别，军事侦察，战场态势感知，火力打击，敌我识别，另外还有特殊的测量，比如人的心理测量等，无不需要测量和测量仪器。

总之，测量深入国计民生的各个领域和角落；人类要安全、健康、舒适的生存，过着幸福美好快乐的生活，离不开测量。但是测量不能随意乱测，而有很多限制：第一，要有明确的测量对象和要达到的测量目标，要讲究方式方法，要遵循客观规律。第二，测量要遵循相应的准则，很多测量都有相应的标准、规范、程序乃至法律、条例约束，标准有国际标准、国家标准、部颁标准、地方标准、企业标准以及工程规范等。这些标准和规范有的规定测量需要检测的技术指标、性能参数，有的规定测量方法、程序，有的二者兼之。比如民众普遍担心和关注的食品安全问题，涉及菜篮子工程、民心工程和民生问题等根本性社会问题，国家有相关测量标准：保健食品标准、食品添加剂标准、食品包装标准、肉与肉制品标准、肉毒梭菌标准、肉毒毒素标准等十大类，其中肉与肉制品标准有 GB/T 9695 系列——规定了肉与肉制品中氯霉素、铜、维生素等的含量的测定等几百个标准及法规、条例进行规范。而工作场所空气质量测量相关标准有 GBZ/T 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》等；汽车方面，有 GB/T 27630—2011《乘用车内空气质量评价指南》、HJT 400—2007《车内挥发性有机物和醛酮类物质采样测定方法》等。第三，测量结果要规范表示，遵循相应的量化规则和单位体系，测量要具备相应的条件，比如正确使用测量仪器和测量仪表、遵循测量原理、按照测量程序和步骤进行测量操作，完成测量过程。第四，测量需要相应的仪器以及由测量仪器组成的测量系统。

1.1.3 测量基准和标准

1. 测量基准

测量基准是指为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个（多个）量值，用作参考的实物量具、测量仪器、基准器具、基准参考物质或测量系统，最为著名的时间基准就是格林尼治时间。

2. 测量标准

测量标准是国际、国家、部门、行业、企业等为了规范测量活动和过程而以文件形式颁布的一系列相关法律、标准、规范、条例等。测量活动和过程中，为了满足这些标准，就要对仪器技术参数和性能指标提出相应的要求，这对于仪器的设计具有规范和指导意义。

1.1.4 测量的特点

1. 测量的目的性

测量的最终目的是获得对象的量化信息。包括直接获得数量信息的测量,判断有无的检测,对仪器参数和指标进行检定的计量等,其结果都是需要量化信息来表达。

2. 测量的规则性

测量作为一组活动,它要遵循一定原则,按照特定规范、标准,依据特定的步骤和程序以及测试系统配置进行。

3. 测量的再现性

测量的再现性是指单个测量在不同条件时,测量相同量值测量结果的严格一致的程度。这些条件有测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考基准、依据标准、实验室等。

4. 测量的可重复性

测量结果的重复性是指在同样的测量条件下,同一被测量量值的连续测量结果的重合程度。

5. 测量的准确性(准确度 accuracy)

测量的准确度是指仪器的指示值与被测量真值之间的接近程度。准确度是定性的概念,它不是物理量,需要借用其他术语来定量表述其接近于真值的能力,如准确度等级、误差等。测量准确度是测量正确度(trueness)和精密度(precision)的结合。测量正确度是指无穷多次重复测量所得测得值的平均值与一个参考量值间的一致程度。测量正确度也不是一个量,不能用数值表示。测量正确度与系统测量误差含义相反,不用来表示随机测量误差。

测量精密度指在规定条件下,对同一或类似被测对象重复测量所得示值或测得值间的一致程度。测量精密度用于定义测量重复性、中间测量精密度和测量再现性。用测量精密度指测量准确度是错误的。虽然精确度高可说明准确度高,但精确的结果也可能是不准确的。例如,使用1 mg/L的标准溶液进行测定时得到的结果是1 mg/L,则该结果是相当准确的。如果测得的三个结果分别为1.63 mg/L, 1.64 mg/L和1.65 mg/L,虽然它们的精确度高,但却是不准确的。

应注意的是,GB/T 17212—1998把accuracy译为精确度,是错误的;GB/T 13283—2008《工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级》把accuracy译为精(准)确度,用精确度代替了准确度;很多人或书籍文献,甚至于将精密度(precision)理解为精确度,简称精度,代替准确度(accuracy)更是错上加错;也有人和文献在把accuracy译为精确度的同时,把正确度(trueness)译为准确度,认为精确度(accuracy)是准确度和精密度的结合,也是错误的。标准JJF 1001—2011、JCGM、ISO/IEC GUIDE 99: 2007以及GB/T 17212—1998本身都明确指出不能够用精密度(precision)替代准确度(accuracy),而且这两个术语也不能与正确度(trueness)相混淆。

所以不能用精密度或精度代替准确度；精度只表示随机效应的影响，与之对应的术语——正准确度，表示系统效应的影响，只有准确度才包含了随机效应和系统效应。

6. 测量的不确定性（度）

测量的不确定度[uncertainty (of measurement)]是测量结果的相关参数，表示合理给定的被测量值的离散特性。

7. 测量的有限性

测量的有限性是指任何测量都不可能是万能的，都有其局限性。

测量的不确定度和测量的有限性说明了海森堡测不准原理的适用性。测不准原理是从量子论的研究中发现的，指一个微观粒子，位置测量越准确，动量测量就越不准确，反之亦然。而在电子测量中，一个信号在时域中测量越准确，在频域就越不准确，反之亦然。测不准原理的本质是测量必定会影响被测对象及其运动和某些属性，所以一切测量都不可能避免误差。

测量的特点对仪器的设计、应用和评价都具有指导意义。

1.1.5 测量的分类

仪器分类对仪器设计有极大的现实意义，不同的分类对仪器的实现可能给出不同的要求和技术途径。

按照不同的方法，测量可以分为多种类型。

1. 按被测量的获得方式分类

将测量分为直接测量和间接测量两种。

1) 直接测量

直接测量是使用一定的工具或设备就可以直接地确定未知量的测量。例如，用直尺测量物体的长度、用天平称量物质的质量、用温度计测量物体的温度等。

2) 间接测量

间接测量是所测的未知量不仅要由若干个直接测定的数据来确定，而且必须通过某种函数关系式的计算，或者通过图形的计算方能求得测量结果的测量。

非常重要的一种间接测量是软测量。软测量是指根据某种最优准则，选择一组既与主变量密切联系，又容易测量的辅助变量，通过构造某种数学模型实现对主变量的估计。

2. 按被测量的变化（快慢）状态分类

将测量分为动态测量和静态测量等。

1) 静态测量

静态测量指在测量过程中被测量是不变的测量。无机非金属材料测量通常属于这种测量。

2) 动态测量

动态测量也称瞬态测量，是指在测量过程中被测量是变化的测量。

3. 根据测量仪器与测量对象的连接条件分类

1) 接触测量

仪器的测量头与工件的被测表面直接接触，并有机械作用的测力存在（如接触式三坐标等）。

2) 非接触测量

仪器的测量头与工件的被测表面之间没有机械的测力存在（如光学投影仪、气动量仪测量和影像测量仪等）。

特别指出的是，在检测时，根据被测量对象的破坏程度分为有损检测和无损检测。无损检测（Non-destructive Testing, NDT），又称无损探伤，是指在不损伤被检测对象的条件下，利用材料内部结构异常或缺陷存在所引起的对热、声、光、电、磁等物理量的变化，来探测各种工程材料、零部件、结构件等内部和表面缺陷。无损检测被广泛用于金属材料、非金属材料、复合材料及其制品以及一些电子元器件的检测。

4. 根据测量原理方法分类

分为：零位法测量、偏位法测量、替代法测量、累积法测量、定义法测量、组合测量、比较测量、互补测量、差分测量、零值测量、差拍测量和谐振测量等。

5. 根据仪器的准确度等级

分为普通测量、精密测量、超精密测量。

这里的精密（度）实际指的是准确度，但习惯上都说成精密度。其中超精密度测量用于超精密微细加工，以及纳米测量等。

综上所述，测量内容很丰富，包括的领域、范围很广。本书通常所说的测量指的是电子测量，所用的仪器是电子仪器。

1.1.6 电子测量

1. 定义

电子测量的概念有狭义和广义之分。狭义的电子测量是指对电子系统和工程技术中各种电参量所进行的测量，内容主要包括：能量，电路参数，信号特性，电子设备性能，信号、元器件或系统工作特性参数与技术指标的测量、测试等。

广义的电子测量是指利用电子技术进行的测量，它自然包括狭义的电子测量。非电量的测量属于广义电子测量的内容，它是通过传感器或变换器将非电量变换为电参量后进行的测量。本书的电子测量指的是广义测量，示意图如图 1.2 所示。

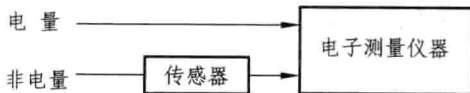


图 1.2 电子测量示意图

电子测量是测量技术中最为先进、发展最快、地位最前沿的技术之一，是测量学和电子

学以及诸多其他学科相互结合的产物。电子测量技术（包括测量理论、方法，测量仪器、装置等）已形成电子科学领域重要而发展迅速的分支，测控与仪器技术是国际和我国一个非常主要和重要的专业。

2. 电子测量及测量技术的特点

1) 高新技术性

电子技术在摩尔定律的作用下飞速发展，日新月异，微型化、小型化和高度集成化的器件、模块、组件、分系统、系统和设备，其体积越来越小，信号密度越来越高、被测属性也越来越丰富，而测量空间却越来越狭窄，使得处于信息技术前端的电子测量技术始终居于高新技术前列。高新技术的应用，不仅导致现有电子测量仪器功能扩展、性能提升，而且不断催生新品种、新技术仪器，以应对日益增长的测量需求。同时，也不断产生新的测量对象，提出新的测量需求，给测量提供新的应用领域，带来新的发展契机和前景。

2) 综合性

电子测量技术结合信息技术各门学科、专业的理论技术方法和工程手段，综合各学科的优势和特点，呈现出一种边缘性、交叉性的态势，表现测量技术的多功能性、应用广泛性和深入性。

3) 智能性

电子测量技术充分利用计算机、人工智能、智能计算等学科的理论和技术、工程方法，使得测量过程和活动具有相当的智能性。

4) 亲和性

是指电子测量技术体现在其测量仪器中体现出来的人机界面的友好性，以及测量的智能性、自动化、网络化和远程化等，对测量活动工作量的大大减轻，既节省人力，又提高了测量效率、保障测量性能。

5) 嵌入性

现代电子测量技术和仪器往往是嵌入在某些系统中的，一类仪器本身就构成嵌入式系统，另外一类主要功能不是用于测量，但是测试测量、检测或监测是其必不可少的功能或组件，比如足球机器人，要完成控球、防撞、射门等动作，这就要利用多种传感器进行各种量的测量和检测，处理后进行控制，完成相应的动作。最为显见的例子是汽车，它不是用来测量的，但是各种各样的传感器、各种各样的测量技术手段和数据处理与控制装置构成数量和种类繁多的汽车电子——那些被称为 ECU 的部件或组件、模块，他们对汽车的安全、可靠和高效运行起到至关重要的作用，同时也是车辆档次高低、价格差异的主要影响与决定因素。第三类就是测控系统中测量仪器，或测量模块、组件。

6) 广泛性和深入性

电子测量技术渗透到人类生活的各个角落，涉及国计民生的各个行业和领域。

1.1.7 测量设备和测量系统

测量设备（measuring equipment）的定义：为实现测量过程所必需的测量仪器、软件、测量标准、标准物质、辅助设备或其组合。注意，有些测量设备用于测量而不能自己得到测量